

신간척지토양의 공간적 염농도 변이가 녹비·사료작물의 출현에 미치는 영향

손용만* · 전건영 · 송재도 · 이재황 · 박무언

한국농어촌공사 농어촌연구원

Effect of Spatial Soil Salinity Variation on the Emergence of Soiling and Forage Crops Seeded at the Newly Reclaimed Tidal Lands in Korea

Yong-Man Sohn,* Geon-Yeong Jeon, Jae-Do Song, Jae-Hwang Lee, and Moo-Eon Park

Rural Research Institute. KARICO. Ansan 426-170, Korea

Relation between spatial variation of soil salinity and emergence of five upland crops such as sudan grass, sesbania, barnyard grass, corn and soybean was studied in the three reclaimed lands of Korea during two years from 2007 to 2008. Although soil salinity is vary high at seeding season, desalting treatment by three days-flooding before seeding, reach at favorable level lower than 6 dS m^{-1} of soil salinity for emergence of soiling and forage crops and then plant number emerged(No. m^{-2}) was 55~149 for sudan grass, 118~266 for barnyard grass, 46~115 for sesbania, 3~11 for corn and 6~19 for soybean in 2007. However plant number emerged under no desalting treatment varies place by place because of soil salinity difference in 2008. Plant number emerged after seeding according to soil salinity was well expressed as logarithmic function, and sharply decrease with increase of soil salinity. It is accordingly concluded that desalting treatment of flooding before seeding of upland crops is essential for good emergence in the newly reclaimed land from tidal flat.

Key words: Reclaimed tidal land, Soil salinity, Spatial variation, Forage crop

서 언

식량생산을 목적으로 개발된 간척지는 논농사가 유일한 대안이었으나 2000년부터 불어 닥친 세계 무역 자유화의 영향으로 전작 특작 원예작 수도작 등 다양한 용도로 활용되어야 하는 시대에 들어서게 되었다. 그러나 간척지의 용도다변화 추세에 맞춘 발작물 재배는 벼농사에 비하여 제염상 불리성 때문에 아직 뚜렷한 성과를 얻지 못하고 있는 실정이다. 간척지에서의 발작물재배는 무엇보다도 작물의 내염성이 매우 중요하다. 일반작물의 경우 수량이 50%의 감수를 기준으로 하여 분류하는데 콩과 같은 약한 작물은 4 dS m^{-1} , 해바라기나 밀과 같은 중정도의 작물은 $6 \sim 10 \text{ dS m}^{-1}$, 목화나 보리와 같은 강한 작물은 $10 \sim 16 \text{ dS m}^{-1}$ 에서 염해를 받게 된다(USSL, 1954; Knott, 1962).

Yang et al.(2008)은 간척연수가 경과할수록 세립질 토양에서 용적밀도가 증가되고 pH와 치환성양이온 및 염농도의 감소한다고 보고하였으나 토양의 물리성 및

화학성의 공간적 변이성이 매우 크기 때문에 소필지 내에서도 공간적 수량변이가 생기고 간척지의 식생분포도 달라진다(Park, 1987; Park and Yoo, 1989a, 1989b; Choi et al., 2002; Kim 등, 2008). 특히 간척지의 염농도 변이는 매우 크고 발작물의 출현과 생육에 지대한 영향을 미칠 것으로 생각된다.

본 연구는 녹비 사료작물로 많이 이용되는 수단그라스, 피, 세스바니아, 옥수수 및 콩 등 5개 작물에 대한 간척지 재배가능성을 연구하고자 현재 새로 간척되고 있는 화옹간척지, 이원간척지 및 영산강III-1옥포간척지에 조성된 시험포에서 2007년부터 2008년까지 2개년에 걸쳐 시험을 수행하였다. 본 연구보고는 간척지에서 염농도의 변이성이 발작물재배에 가장 중요한 파종중자의 출현에 미치는 영향을 구명하고자 시험한 결과이다.

재료 및 방법

시험토양의 특성분석 새로 개발되는 간척지에 녹비 사료작물의 재배가능성을 검토하기 위하여 화옹간척지(경기 화성, 6,200 ha), 이원간척지(충남 태안,

접수 : 2009. 5. 18 수리 : 2009. 6. 3

*연락처 : Phone: +82314001836,

E-mail: sym0203@chol.com

1,352ha) 및 영산강III-1옥포(13,160 ha)간척지에 각각 1,100 m²(20×55 m), 1,200 m²(30×40 m), 1,200 m²(30×40 m)규모의 시험포를 조성하여 시험을 수행하였다. 토양물리성 분석중 토성은 피펫법으로 입경분포비율을 분석하여 토성삼각법으로 판정하였고 용적밀도는 코아법으로 분석하였으며, 지하수위는 직경 3 cm, 길이 4 m의 PVC관을 매설하여 주기적으로 측정을 하였다. 토성은 화용시험포가 미사질토, 이원간척지가 양질사토, 영산강간척지가 사양토이고 용적밀도는 1.35~1.60 Mg m⁻³였다. 투수속도의 측정방법은 오거홀에 물을 붓고 줄어드는 물의 양과 시간을 측정하여 계산하는 역오거혈법(Park and Yoo, 1983)을 이용하였다. Table 1은 시험토양의 물리성을 분석한 결과이다.

시험토양의 화학성 분석은 농촌진흥청 표준분석법(NIAST, 2000)에 준하여 pH는 토양과 증류수를 1:5로 하여 pH meter로 측정하였고, 토양유기물은 Tyrin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 토양 5g을 1N-NH₄OAc(pH7.0)법으로 측정하였다. 시험전 전체 시험포에 대한 EC 변이는 전자유도장치를 이용하여 공간적 분포도로 작성하였고(Jung et al. 2003), 시험과정 중 토양염농도는 토양시료를 채취하여 EC-meter로 토양과 증류수를 1:5로 하여 EC를 측정하고(NIAST, 2000), 이 측정값을 5배수하여 토양의 EC를 환산하였다. 1:5 추출법에 의한 토양 EC 값을 포화추출법에 의한 토양 염도(ECe)로 환산할 때는 미사의 함량에 따라 달리하여야 하고(Lee et al., 2003a), 토

성에 따라 희석배수값(DF)을 다르게 적용하여야 하지만(Jung et al., 2001), 본 연구에서는 편의상 1:5 추출법으로 분석하고 희석배수값(DF)을 무조건 5배수하여 토양 염도(EC)로 하였다. Table 2는 시험토양의 화학성을 분석한 결과이다.

시험작물의 재배법 및 출현율조사 발작물재배시험은 녹비 사료작물로 세스바니아, 피, 및 수단그라스 등 3개 작물과 식용 조사료작물로 콩과 옥수수 등 2개 작물을 대상으로 실시하였다. 시험작물의 품종은 수단그라스는 G7, 피는 제주재래피, 세스바니아는 품종미상, 옥수수는 강일옥, 콩은 황금콩이었다.

시험작물의 종자발아율은 세스바니아와 피는 약 80%로 낮은 경향이나 수단그라스는 94%였고, 콩과 옥수수의 발아율은 각각 99% 과 95%이었다.

시험작물은 명거배수가 원활하도록 시험포 내부는 매 2m 간격으로 휴립상(파상 170 cm, 고랑(배수로) 30 cm)을 만든 뒤 조파하였다. 2007년의 파종기는 화용시험지가 6월10일, 영산강시험지가 6월13일, 이원시험지가 6월15일이었고, 2008년의 파종기는 화용시험지가 6월12일, 영산강시험지가 6월16일, 이원시험지가 6월10일이었다. 파종방법은 수단그라스와 세스바니아가 4 kg/10a, 피가 1.3 kg/10a를 파종량으로 하여 휴립상에 협폭파(40x18 cm)로 파종하였고, 콩과 옥수수는 각각 60×15 cm, 60×30 cm로 하여 혈당 점과 재배를 하였다.

시비는 각 지역의 농민들이 주로 사용하는 비중을

Table 1. Soil physical properties of the experimented sites before crop cultivation in the three reclaimed lands.

Reclaimed land	Depth	Bulk density Mg m ⁻³	Particle distribution			Soil texture	Hydraulic conductivity cm day ⁻¹
			Sand	Silt	Clay		
			----- % -----				
Hwaong	0~20	1.35	7.6	83.7	8.7	Si	0.91
	20~40	1.41	36.5	53.5	10.0	SiL	
Iweon	0~20	1.48	82.8	13.2	4.0	LS	27.67
	20~40	1.60	84.5	10.5	5.0	LS	
Yeongsangang	0~20	1.55	53.4	35.6	11.0	SL	1.85
	20~40	1.55	71.4	20.6	8.0	SL	

Table 2. Soil chemical properties of the experimented sites before crop cultivation in the three reclaimed lands.

Reclaimed area	pH	EC	Av.P ₂ O ₅	T-N	OM	Exchangeable cations			
						Ca	K	Mg	Na
	1:5	dS m ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----		----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
Iweon	8.8	14.3	14	0.18	4.5	4.7	1.47	5.2	9.0
Hwaong	7.6	6.4	34	0.53	8.3	4.6	1.91	5.2	8.7
Yeongsangang	7.7	5.2	14	0.43	10.0	8.0	0.86	3.8	2.2
Optimum range*	6.7~7.0	-	150~250	-	20~30	6.0~7.0	0.45~0.55	2.0~2.5	-

Table 3. Seeding rates and amount of applied fertilizer for cultivation of crops.

Crops	Seeding rate kg 10 ⁻¹	Applied fertilizer		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sudan grass	4	20	15	15
Barnyard grass	1.3	15	10	10
Sesbania	4	6	8	6
Corn	2 seeds per 60x15 cm	17.4	3.0	6.9
Soybean	2 seeds per 60x30 cm	3.0	3.0	3.4

이용하여 화용간척지는 도우미(15-10-10), 이원은 신세대(22-12-12), 영산강은 신세대 저BB비료(22-4-8)를 질소기준으로 시비하여 로타리한 뒤에 적정시비량에 부족한 성분은 파종시 단비인 유안, 황산가리 및 용과린으로 보충하여 시비하였다. 시비성분 중 인산과 칼리는 전량 기비로 사용하였고, 질소는 콩(전량기비)을 제외한 모든 작물에 총질소시비량의 50%를 각각 기비와 추비(생육왕성기)로 사용하였다. Table 3은 시험작물의 파종량과 시비량이다.

작물의 출현율조사는 작물별로 파종상 1,200 cm²(40 × 30)내 출현개체를 3반복으로 조사하여 m²당위로 환산하였다.

결과 및 고찰

토양염농도의 시기별 변화와 공간변이성 Fig. 1은 영산강, 이원 및 화용간척지의 시험포장에서 녹비 사료작물을 시험재배하는 기간(2007 2008년)의 토양 염농도 변화이다.

간척지의 염농도가 2007년 첫해의 파종직후에는 담수제염처리를 함에 따라 평균 염농도에 비하여 고농도구나 저농도구의 염농도 차이가 매우 적었으나 재배기간이 경과함에 따라 차이가 증가하고, 우기에는 다시 차이가 감소하는 경향이였다. 2007년도 시험포장의 염농도는 작기 중 이원간척지가 가장 높게 유지되어 평균 1.84~7.62 dS m⁻¹의 범위였으나 가장 낮은 염농도를 보이는 영산강 간척지는 평균 0.86~1.56 dS

m⁻¹의 범위를 보였다. 2007년도와 2008년간에 가장 큰 폭의 염농도차이를 보인 곳은 화용간척지의 시험포장이다. 2008년시험포지는 간척 처너지로서 염농도가 매우 높아 2008년 작기 중 평균 6.71~16.79 dS m⁻¹의 범위를 보여 매우 높았다. 전체적으로 봄 때 우기인 여름에는 상대적으로 낮았고 봄과 가을의 건조기에는 염농도가 상승하는 경향을 보였다. 또 평균대비 최고와 최저 염농도의 차이가 매우 큰 것으로 조사되어 작물의 작황이 한필지내에서도 큰 기복이 생길 수 있는 요인이 될 것으로 생각되었다. 또한 강우가 많은 여름기간에는 지점간의 편차가 적은 편이었지만 강우가 적은 계절로 갈수록 편차가 심화되는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 강우시 지하수의 상승이 전지점에서 비교적 균일하게 일어나기 때문에 지점간 편차가 감소하는 것으로 생각된다.

Fig. 2는 영산강, 이원 및 화용 간척지의 시기별 지하수위 변동과 지하수의 염농도 변화이다.

영산강 간척지는 지하수위가 높을 때는 -6 cm에서 낮을 때는 -96 cm에 이르는 진폭을 보였고 2007년보다 2008년은 지하수위가 점차 낮아지는 경향을 보여 지하수에 의한 습해는 감소할 수 있는 조건이 됨으로 발작물재배에 적합한 환경으로 바뀌고 있음을 알 수 있다. 이원간척지는 높을 때는 -23 cm에서 낮을 때는 -167 cm에 이르는 진폭을 보여 비가 오고 안 오고에 따라 매우 신속하게 지하수위가 변하고 있음을 알 수 있다. 화용간척지는 높을 때는 -17 cm에서 낮을 때는

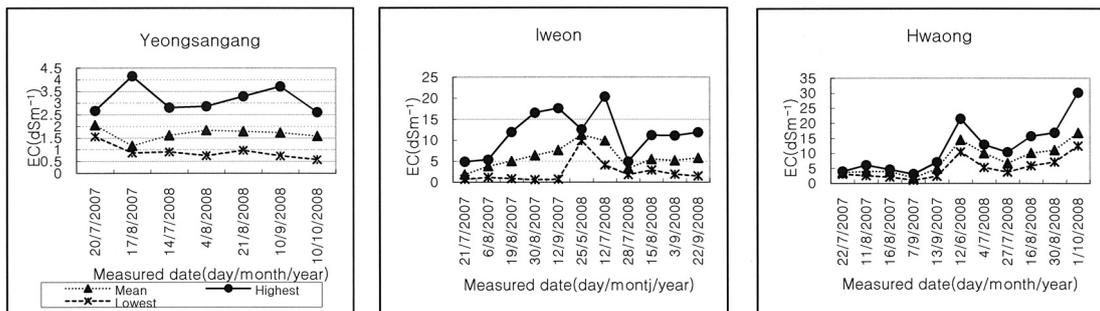


Fig. 1. Changes in surface soil salinity at the experimented field of the three reclaimed lands during growing period of soiling and forage crops in 2007 and 2008.

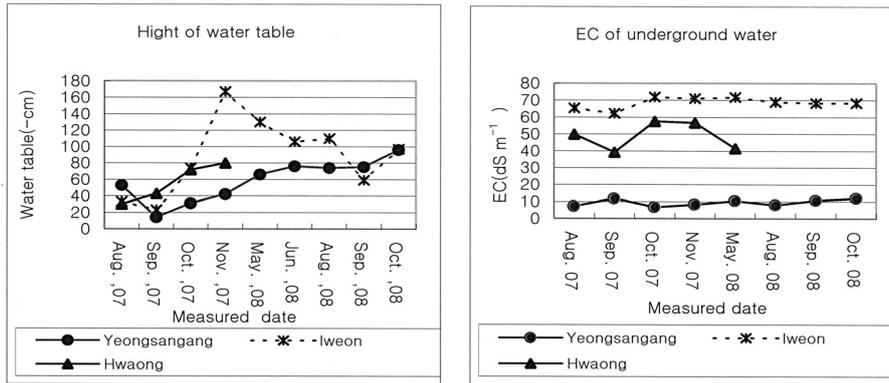


Fig. 2. Changes in height of water table and salinity of ground water at the experimented field of the three reclaimed lands during growing period of soiling and forage crops in 2007 and 2008.

-139 cm에 이르는 진폭을 보였지만 우기인 여름에는 지하수위가 -40 cm 이상으로 높게 유지되는 경향을 보여 발작물재배시 습해가 우려될 뿐만 아니라 지하수 상승시 지하수에 용해되어 있는 염분이 전 토층의 염농도를 균질화시키는 효과가 있었다. 일반적으로 수분의 모세관 상승증발이 토양의 재염화를 일으키는 주된 원인이라 할 수 있지만 지하수의 상승은 토양단면전체의 염농도를 상향 평균화시키게 됨으로 지하수의 염농도가 높을 경우 토양의 재염화가 더욱 촉진될 것으로 생각된다.

지하수의 염농도는 계절에 따라 큰 차이가 없이 이원간척지가 약 70 dS m⁻¹, 화웅간척지가 약 50 dS m⁻¹, 영산간척지가 약 10 dS m⁻¹내외의 농도를 보였다. 결과적으로 이원간척지와 화웅간척지는 25%의 높은 염농도를 나타낸 반면에 경지로 이용된 헛수가 몇 년 흐른 영산간척지는 0.4~0.7%의 낮은 염농도를 보였다. 따라서 영산간척지는 지하수가 상승할 경우 단순한 습해만 일어날 수 있고 염농도피해는 거의 발생할 위험이 없지만 화웅간척지나 이원간척지는 여름철 폭우시 지하수위가 상승하게 되면 습해와 염해가 혼재된 복합적인 피해를 받을 위험이 있다고 생각된다.

토양 염농도는 시간적 변이성뿐만 아니라 공간적 변이성으로 표출되며 동일포지내 작물의 생육과 수량의 불균일성을 증폭시키는 원인이 된다. 시험포지내에서 토양 염농도의 공간적 변이성은 전자유도장치를 이용하여 토심 30 cm까지 매우 편리하고 정확하게 측정할 수 있다(Jung et al., 2003). Fig. 3은 토심 30 cm의 토양EC를 전자유도장치로 측정한 2007년 시험전후의 토양 EC분포도이다.

작물시험 후 10월의 염농도는 작물시험전 6월초 이전에 비하여 크게 낮아진 것으로 나타나서 여름강우기의 제염효과가 매우 큰 것으로 생각된다. 따라서 여름작물의 재배는 파종시 염농도만 잘 관리하면 여름강우기의 제염지속으로 무난한 생육을 할 것으로 생

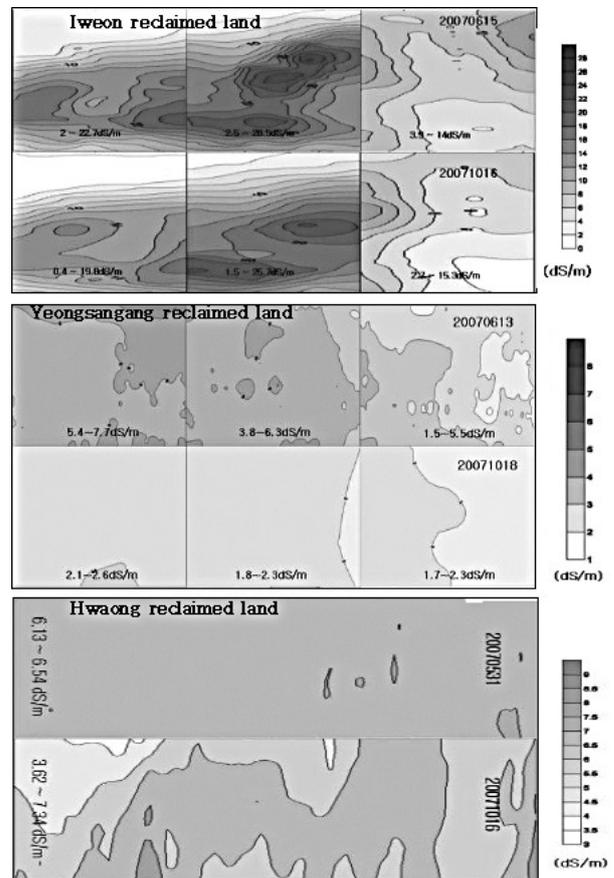


Fig. 3. Spatial distribution map of soil salinity measured before(May) and after(October) field experiment of soiling and forage crops in the three reclaimed lands in 2007.

각된다. Fig. 1과 3을 종합하면 토양의 염농도는 시공간적으로 매우 변이가 큰 특징을 보이고 있다. 이러한 염농도의 시공간적 변이가 생기는 원인은 간척지가 밭토양으로 관리됨에 따라 미세지형차이가 우수에 의한 제염작용이나 모관수 상승에 의한 지표수분증발 및 고농도 지하수의 상승에 의한 염류의 토양흡착 등에 차별적으로 작용하기 때문에 생기는 현상이라고 생각된다. 따라서 간척지의 제염을 촉진하기 위해서

는 담수제염 등 제염처리와 병행하여 암거배수 등 다양한 방법을 동원하여 지하수가 재 상승하지 않도록 하는 것이 제염화를 저감할 수 있을 것으로 생각된다.

토양염농도와 파종종자의 출현 염농도의 영향을 최소화하기 위하여 2007년 3일간 담수제염처리를 한 후 파종하였다. 파종전 담수처리한 영향으로 작물의 출현 개체수는 안정적인 재배에 충분한 입모수를 확보할 수 있었다. Table 4는 3개 간척지의 작물별 파종시의 토양염농도와 확보된 입모수를 조사한 것이다.

Table 4에서 출현된 입모수가 장소에 따라 차이가 많았지만 토양의 염농도와는 일관성 있는 경향을 보이지 않았다. 그러나 파종전 담수제염처리는 3개 간척지 공히 토양의 염농도를 6.0 dS m⁻¹ 이하로 제염되었음으로 이 등이 간척지에서 썩갯 등 6개 밭작물을 시험한 결과 8.40 dS m⁻¹ 이하에서 양호한 생육을 보였다는 보고(Lee et al., 2003)와 비교할 때 충분히 제염되었다고 판단된다. 따라서 파종전 담수제염처리는 출아에 지장이 적을 정도로 제염되어 충분한 입모수를 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

파종전 담수제염처리를 하지 않은 2008년 시험포지의 출현상태는 매우 불량하거나 전혀 출아되지 않는 부분이 많았다. 그 결과 파종된 작물의 출현개체수는 염농도가 현저히 낮은 영산강 간척지를 제외한 이원간척지와 화웅간척지의 출현상태는 지극히 불량하였다. 염농도가 높은 이원간척지는 시험작물의 파종면적의 70%에서 출현개체수가 없었으며, 화웅간척지에는 작물에 따라 편차가 심하여 파종면적의 33~66%에서 출현개체수가 전혀 없었다. Fig. 4는 시험작물의 파종시 염농도와 출현개체수와의 관계이다.

파종종자의 출현개체수는 토양염농도가 증가할수록 로그함수적으로 감소하며, 파종한 종자의 출현개체수(No. m⁻²)는 토양염농도가 1.0 dS m⁻¹일 때 수단그라스 149, 제주재래피 266, 세스바니아 115, 옥수수 11, 콩 19로 계산되고, 담수제염시 최고 염농도인 6 dS m⁻¹(Table 4)을 적용한 개체수(No. m⁻²)는 수단그라스 55, 제주재래피 118, 세스바니아 46, 옥수수가 4 및

콩 6으로 계산되며, 출현개체수가 0에 도달하는 토양의 염농도(dS m⁻¹)는 수단그라스 17, 제주재래피 25, 세스바니아 20, 옥수수 17, 콩 14로 계산된다.

Table 4와 Fig. 4를 종합하면 담수제염처리를 할 경우 대부분의 포장이 염농도 1.0~6 dS m⁻¹ 내외로 제염됨으로 가능한 입모수(No. m⁻²)는 수단그라스 55~442, 제주재래피 118~700, 세스바니아 46~692, 옥수수 4~11, 콩 6~22정도 된다. 하작용 녹비 사료작물은 가장 생육이 왕성한 기간이 여름철 우기에 해당됨을 고려한다면 초기 입모수만 충분히 확보되면 성공적인 재배가 가능할 것으로 판단된다. 따라서 녹비 사료작물의 발재배는 파종전 담수제염처리가 가장 중요한 염농도의 관리 수단이 될 것으로 생각된다.

요 약

최근에 간척 조성된 화웅, 이원 및 영산강간척지에서 밭작물재배가능성을 검토하기 위한 일환으로 2007 2008년 2년간 토양염농도의 시 공간적 변이와 염농도가 녹비 사료작물(수단그라스, 제주재래피, 세스바니아, 옥수수 및 콩)의 출현에 미치는 영향을 검토하였다. 시험 간척지의 토양염농도는 간척지에 따라 크게 차이가 있으며, 동일 간척지 내에서도 장소에 따라 차이가 크고, 파종전에 비하여 시험후인 가을에는 여름 강우기의 제염효과로 매우 낮아지는 경향을 보였다. 녹비 사료작물을 파종하기 전 3일간 담수로 제염처리를 한 후에 파종한 2007년도 시험에서는 입모수(No. m⁻²)가 수단그라스 55~442, 제주재래피 118~700, 세스바니아 46~692, 옥수수 4~11, 콩 6~22정도로 확보되어 작물재배에 문제가 없었으나 파종전 제염처리를 하지 않은 2008년 시험에서는 간척지에 따라서 염농도 차이가 크고, 또 동일 간척지내에서도 장소에 따라 염농도 차이가 크게 나타나서 전혀 출현되지 않은 곳부터 출현율이 매우 좋은 곳에 이르기 까지 매우 다양하였으며, 출현 개체수는 토양염농도의 증가에 따라 로그함수적으로 감소하는 경향을 보여 출현 개체수가 0에 도달하는 토양염농도 수준(dS m⁻¹)은 수

Table 4. Emerged plant number of crops and surface soil salinity at the experimented field with desalting treatment by three days-flooding before seeding of soiling and forage crops in 2007.

Crops	Iweon		Yeongsangang		Hwaong	
	Soil EC	Plant	Soil EC	Plant	Soil EC	Plant
	dS m ⁻¹	No. m ⁻²	dS m ⁻¹	No. m ⁻²	dS m ⁻¹	No. m ⁻²
Sudan grass	1.0~2.0	113~442	1.5~3.0	54~221	0.71~4.0	117~333
Barnyard grass	0.5~3.0	207~683	1.0~3.0	75~361	0.6~4.0	383~700
Sesbania	1.5~6.0	183~692	1.5~3.5	146~325	0.66~3.5	233~467
Corn	1.3~3.72	11	1.8~2.8	11	0.8~3.0	11
Soybean	1.5~3.2	22	1.8~3.7	22	0.8~1.9	22

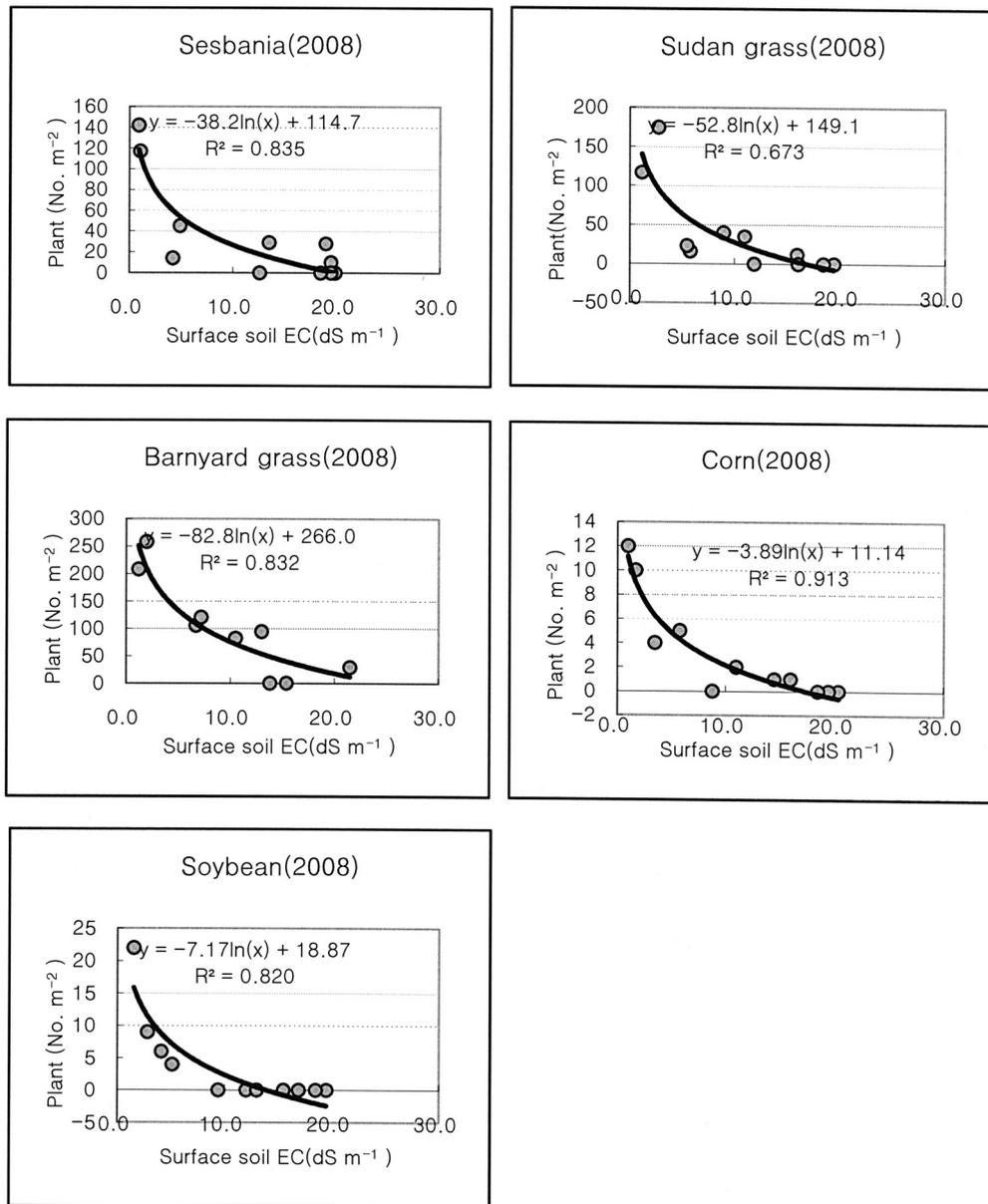


Fig. 4. Relationship between plant emergence of crops and surface soil salinity at the experimented field without desalting treatment before seeding of soiling and forage crops in the three reclaimed lands in 2008.

단그라스 17, 제주채래피 25, 세스바니아 20, 옥수수 17, 콩 14이었다.

인 용 문 헌

Choi, M.K., S.S. Kim, N.H. Back, W.Y. Choi, J.K. Lee, C.K. Lee, S.C. Kim. 2002. Field variation mapping for precision management in small size paddy field. *J. of Precision agr.* 1(1): 39-50).

Jung, Y.S., W.H. Lee, J.H. Joo, I.H. Yu, W.S. Shin, Y. Ahn and S.H. Yoo. 2003. Use of electromagnetic inductance for salinity measurement in reclaimed saline land. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 36:57-65. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 35(4):207-215.

Kim, E.K., S.U. Chun, Y.K. Joo, Y.S. Jung, and H.G. Jung. 2008.

Soil salinity and continuum distribution of vegetation on the three reclaimed tidal flats of Kyeonggi-bay in the mid-west coast of Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 41(2):83-93.

Knott J.E. 1962. Handbook for vegetable growers. p44-45. J.W. Wiley & sons, Inc.

Lee, S.H., B.D. Hong, Y. Ahn, and H.M. Ro. 2003a. Estimation of conversion factors for electrical conductivities measured by saturation-paste and 1:5 water extraction. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 36(4):193-199.

Lee, S.H., B.D. Hong, Y. Ahn, and H.M. Ro. 2003b. Relation between growth condition of six upland-crops and soil salinity in reclaimed land. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 36(2):66-71.

NIAST. 2000. Analysis of soil and plant. National Inst. of Agr. Sci. & Teck. RDA, Suwon, Korea.

Park M.E. and S.H. Yoo. 1983. A comparison of soil hydraulic

- conductivities determined by three different methods in a sandy loam soil. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 16(1):14-19.
- Park, M.E. 1987. Spatial variation analysis of soil characteristics and crop growth. Ph. thesis. Seoul National University, Korea.
- Park, M.E. and S.H.Yoo. 1989a. Spatial variation analysis of soil characteristics and crop growth across the land-partitioned boundary. (I) Spatial variation of soil physical properties. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 22(3):163-172.
- Park, M.E. and S.H.Yoo. 1989b. Spatial variation analysis of soil characteristics and crop growth across the land-partitioned boundary. (II) Spatial variation of soil chemical properties. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 22(4):257-264.
- Seo, J.H., H.J. Lee, Y.S. Jung, S.H. Lee. 2002. Soil and yield mapping and nutrient recommendation for precision agriculture in rice paddy. *J. of Precision agr.*1(1): 51-60.
- USSL. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA. 1-6.
- Yang, C.H., C.H. Yoo, J.H. Jung, B.S. Kim, W.K. Park, J.H. Ryu, T.K. Kim, J.D. Kim, S.J. Kim, and S.H. Baek. 2008. The change of physico-chemical properties of paddy soil in reclaimed tidal